

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Juni 2019 (27.06.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/121148 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02K 1/04 (2006.01) *F02K 1/08* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/084319

(22) Internationales Anmeldedatum:

11. Dezember 2018 (11.12.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2017 130 568.8

19. Dezember 2017 (19.12.2017) DE

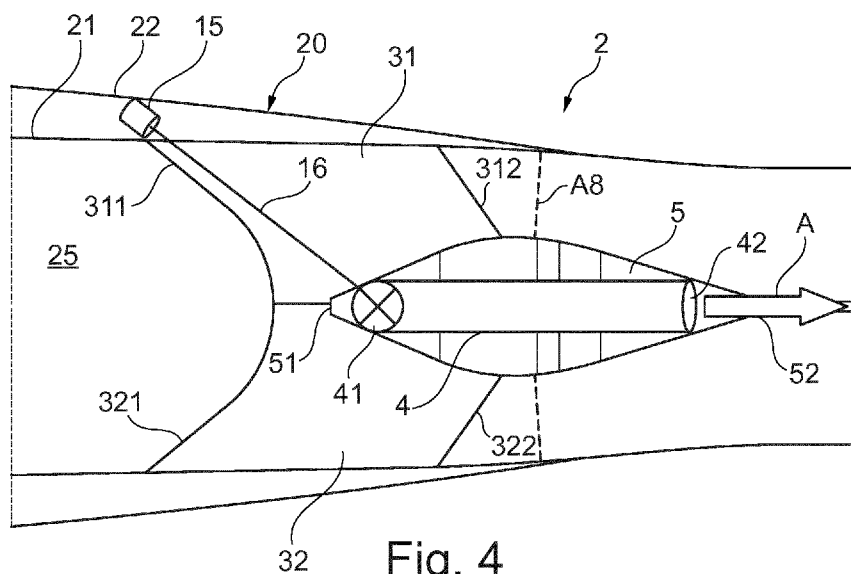
(71) Anmelder: **ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND LTD & CO KG** [DE/DE]; Eschenweg 11, OT Dahlewitz, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE).

(72) Erfinder: **SCHILLINGER, Thomas**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, OT Dahlewitz, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE). **STEINER, Sören**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, OT Dahlewitz, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE). **TODOROVIC, Predrag**; c/o Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Eschenweg 11, OT Dahlewitz, 15827 Blankenfelde-Mahlow (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,

(54) Title: THRUST NOZZLE FOR A TURBOFAN ENGINE OF A SUPERSONIC AIRCRAFT

(54) Bezeichnung: SCHUBDÜSE FÜR EIN TURBOFAN-TRIEBWERK EINES ÜBERSCHALLFLUGZEUGS



(57) Abstract: The invention relates to a thrust nozzle for a turbofan engine of a supersonic aircraft, wherein the thrust nozzle comprises a thrust nozzle wall (20), and a flow channel (25) that is delimited radially outwards by the thrust nozzle wall (20), wherein the flow channel (25) has a nozzle throat surface (A8) and a central body (5) that is arranged in a flow channel (25). According to the invention, the central body (5) forms a bypass channel (4), which extends within the central body (5), and which is designed for the gas of the flow channel (25) to flow through. The bypass channel (4) has at least one upstream inlet opening (41), which is arranged upstream of the nozzle throat surface (A8) of the flow channel (25), and at least one downstream outlet opening (42), which is arranged downstream of the nozzle throat surface (A8) of the flow channel (25).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Schubdüse für ein Turbofan-Triebwerk eines Überschallflugzeugs, wobei die Schubdüse aufweist: eine Schubdüsenwand (20), einen Strömungskanal (25), der durch die Schubdüsenwand (20) radial außen begrenzt ist, wobei der Strömungskanal (25) eine Düsenhalsfläche (A8) aufweist, und einen im Strömungskanal (25) angeordneten Zentralkörper

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(5). Es ist vorgesehen, dass der Zentralkörper (5) einen Bypass-Kanal (4) ausbildet, der sich innerhalb des Zentralkörpers (5) erstreckt und der dazu vorgesehen ist, von Gas des Strömungskanals (25) durchflossen zu werden, wobei der Bypass-Kanal (4) mindestens eine stromaufwärtige Eingangsöffnung (41) aufweist, die stromaufwärts der Düsenhalsfläche (A8) des Strömungskanals (25) angeordnet ist, und mindestens eine stromabwärtige Ausgangsöffnung (42) aufweist, die stromabwärts der Düsenhalsfläche (A8) des Strömungskanals (25) angeordnet ist.

5

10

15

20

Schubdüse für ein Turbofan-Triebwerk eines Überschallflugzeugs

Beschreibung

25

Die Erfindung betrifft eine Schubdüse für ein Turbofan-Triebwerk eines Überschallflugzeugs gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

30

Es ist aus militärischen Anwendungen bekannt, eine konvergent-divergente Schubdüse eines Turbofan-Triebwerks mit einer verstellbaren Geometrie auszubilden, um eine Vielzahl von Kombinationen im Hinblick auf die Düsenhalsfläche (üblicherweise als A8 bezeichnet) und die Düsenaustrittsfläche (üblicherweise als A9 bezeichnet) realisieren zu können. Hierzu ist es beispielsweise bekannt, eine Schubdüse als Iris/Petal-Düse mit einer Vielzahl einzelner verstellbarer Lamellen auszubilden. Die Komplexität solcher Schubdüsen ist hoch, da die einzelnen Lamellen für ihre Verstellbarkeit mit Aktuatoren versehen sein müssen. Weitere Nachteile sind ein aufgrund der Aktuatoren erhöhtes Gewicht der Schubdüse, eine hohe Lärmentwicklung und ein intensiver Wartungsbedarf.

35

40

Es ist vom Kampfflugzeug Messerschmidt 262 bekannt, in einer Schubdüse einen Zentralkörper anzuordnen, der zur Einstellung der Düsenaustrittsfläche über eine auf der Maschinenachse angeordnete Düsennadel axial verstellbar ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine für einen Überschallbetrieb geeignete Schubdüse eines Turbofan-Triebwerks bereitzustellen, die in effizienter Weise eine Einstellung der Düsenhalsfläche ermöglicht. Des Weiteren sollen Verfahren zur Einstellung der Düsenhalsfläche bereitgestellt werden.

5

Diese Aufgabe wird durch eine Schubdüse mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 17 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 19 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

10

Danach betrachtet die vorliegende Erfindung eine Schubdüse für ein Turbofan-Triebwerk eines Überschallflugzeugs, die eine Schubdüsenwand, einen Strömungskanal, der durch die Schubdüsenwand radial außen begrenzt ist, und einen im Strömungskanal angeordneten Zentralkörper aufweist. Dabei bildet der Strömungskanal eine

15 Düsenhalsfläche, die die kleinste Querschnittsfläche zwischen dem Zentralkörper und der Schubdüsenwand bezeichnet.

20

Die Erfindung sieht vor, dass der Zentralkörper einen Bypass-Kanal ausbildet, der sich innerhalb des Zentralkörpers erstreckt und der dazu vorgesehen ist, von Gas des Strömungskanals durchflossen zu werden. Dabei weist der Bypass-Kanal mindestens eine stromaufwärtige Eingangsöffnung auf, die stromaufwärts der Düsenhalsfläche des Strömungskanals angeordnet ist, und mindestens eine stromabwärtige Ausgangsöffnung auf, die stromabwärts der Düsenhalsfläche des Strömungskanals angeordnet ist.

25

Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht durch die Ausbildung eines Bypass-Kanals im Zentralkörper, die effektive Düsenhalsfläche des Strömungskanals einzustellen. Die effektive Düsenhalsfläche setzt sich dabei zusammen aus der Düsenhalsfläche des Strömungskanals (d.h. der kleinsten Querschnittsfläche des Strömungskanals zwischen Zentralkörper und Schubdüsenwand) und dem Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals.

30

Durch Einstellung des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals kann die effektive Düsenhalsfläche verändert werden. Der Öffnungsquerschnitt bzw. Strömungsquerschnitt des Bypass-Kanals kann dabei an beliebiger Stelle im Bypass-Kanal eingestellt werden. Es kann sich beispielsweise um den Öffnungsquerschnitt der Eingangsöffnung oder den Öffnungsquerschnitt der Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals handeln. Die Möglichkeit

35

einer Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche besteht dabei, ohne dass die Schubdüsenwand oder der Zentralkörper mit einer verstellbaren Geometrie versehen sein müssen.

Der Bypass-Kanal kann für verschiedene Zwecke eingesetzt werden.

Gemäß einer ersten Erfindungsvariante wird die Möglichkeit, die effektive
5 Düsenhalsfläche durch Einstellung des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals zu
verändern, dazu genutzt, aufgrund von Fertigungstoleranzen entstandene Abweichungen
der Düsenhalsfläche von einem vorgegebenen, zu realisierenden Wert auszugleichen.
Durch diese Ausgleichmöglichkeit entfällt das Erfordernis, die die Düsenhalsfläche
bildenden Komponenten mit geringer Fertigungstoleranz herzustellen. Da die Fertigung
10 der Komponenten mit geringer Toleranz einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt,
ermöglicht die Erfindung eine deutliche Kostenersparnis. Die Erfindung erlaubt es, die die
Düsenhalsfläche bildenden Komponenten mit vergleichsweise großen Toleranzen
herzustellen, indem die vorgegebene effektive Düsenhalsfläche durch entsprechende
Einstellung des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals nachträglich eingestellt und
15 optimiert wird.

Die Einstellbarkeit des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals kann auch dazu genutzt
werden, eine zeitliche Veränderung der Düsenhalsfläche, die durch den Betrieb des
Flugtriebwerks bewirkt wird, in einfacher Weise auszugleichen. So kann eine geänderte
20 Düsenhalsfläche durch Nachjustierung des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals
korrigiert werden. Hierdurch kann der Grundüberholungszeitraum (Time between
Overhaul – TBO) vergrößert werden, was zu einer weiteren Kostenersparnis führt.

Gemäß einer zweiten Erfindungsvariante wird die Möglichkeit, die effektive
25 Düsenhalsfläche durch Einstellung des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals zu
verändern, dazu genutzt, die effektive Düsenhalsfläche während des Betriebs des
Triebwerks kontinuierlich einzustellen, um die effektive Düsenhalsfläche bei jedem
Betriebszustand oder zumindest bei bestimmten Betriebszuständen in gewünschter
Weise einzustellen. Durch Einstellung bzw. Änderung der effektiven Düsenhalsfläche
30 kann dabei der Expansionsgrad des Strömungskanals hinter der Düsenhalsfläche, also
das Verhältnis der strömungstechnisch effektiven Flächen $A9'/A8'$ (das stets größer oder
gleich eins ist) für jeden Betriebszustand eingestellt werden. Eine Vergrößerung der
effektiven Düsenhalsfläche durch Einstellen eines maximalen Öffnungsquerschnitts des
Bypass-Kanals führt dabei zu einer Vergrößerung des Wertes $A8'$, so dass der effektive
35 Expansionsgrad verkleinert wird. Bei geschlossenem Bypass-Kanal wird der effektive
Expansionsgrad dagegen vergrößert.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass während des Startvorgangs die effektive Düsenhalsfläche maximiert wird, so dass die Gefahr eines Sperrens (einer Durchströmung mit Schallgeschwindigkeit im Düsenhals - „choking“) der Schubdüse aufgrund eines zu großen Expansionsgrads des Strömungskanals reduziert wird.

5 Hierdurch wird auch die Gefahr einer starken Lärmentwicklung, die bei einer gesperrten Schubdüse auftritt, reduziert.

Die vorliegende Erfindung ist mit dem weiteren Vorteil verbunden, dass die durch die Strömung durch den Bypass-Kanal verursachten Strömungsverluste vergleichsweise
10 gering sind, da die Eingangsöffnung des Bypass-Kanals stromaufwärts der Düsenhalsfläche des Strömungskanals und damit an einer axialen Position liegt, an der das im Strömungskanal strömende Gas noch nicht seine größte Geschwindigkeit erreicht hat, die es im Falle einer unterkritischen Düsendurchströmung erst in der Düsenhalsfläche erreicht. Dabei ist es vorteilhaft, dass ein Anzapfen des
15 Hauptmassenstroms durch die Schubdüse bei einer möglichst geringen Machzahl erfolgt, so dass damit einhergehende Störungen des dreidimensionalen Strömungsfeldes gering sind.

Es wird darauf hingewiesen, dass als Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals die
20 kleinste Querschnittsfläche entlang der Längserstreckung des Bypass-Kanals bezeichnet wird. Diese kleinste Querschnittsfläche definiert den Öffnungsgrad des Bypass-Kanals, d. h. den Massenstrom, der durch den Bypass-Kanal strömen kann. Je größer der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals, desto größer der Massenstrom durch den Bypass-Kanal und dementsprechend desto größer auch der Einfluss auf die effektive
25 Düsenhalsfläche.

Es wird weiter darauf hingewiesen, dass sich der Bypass-Kanal nicht notwendigerweise ausschließlich im Zentralkörper erstreckt. Es ist lediglich erforderlich, dass sich der Bypass-Kanal auch im Zentralkörper erstreckt. Wie noch erläutert wird, kann
30 beispielsweise vorgesehen sein, dass ein stromaufwärtiger Abschnitt des Bypass-Kanals in Streben ausgebildet ist, über die der Zentralkörper mit der Schubdüsenwand verbunden ist.

Es wird weiter darauf hingewiesen, dass als Schubdüsenwand allgemein die Wandung
35 der Schubdüse bezeichnet wird. Die Schubdüsenwand kann mehrlagig aufgebaut sein, insbesondere eine Innenwand und eine Außenwand umfassen. Dabei ist die Innenwand dem Gasstrom zugewandt und begrenzt den Strömungspfad durch die Schubdüse. Die

Außenwand grenzt an die Umgebung. Weiter kann vorgesehen sein, dass die Schubdüsenwand sowohl räumlich fixierte Bereiche als auch bewegbare Bereiche umfasst, beispielsweise Komponenten einer Schubumkehr. Die Schubdüsenwand kann auch als Umfangsgehäuse der Schubdüse bezeichnet werden.

5

Die mindestens eine stromaufwärtige Eingangsöffnung des Bypass-Kanals, die der Zentralkörper ausbildet, kann eine oder mehrere Eingangsöffnungen umfassen. Beispielsweise ist in einer Ausführungsvariante eine zentrale Eingangsöffnung im Zentralkörper ausgebildet. Gemäß einer anderen Ausführungsvariante sind eine Vielzahl

10 von Eingangsöffnungen vorgesehen, die in Umfangsrichtung beabstandet im stromaufwärtigen Abschnitt des Zentralkörpers ausgebildet sind. In entsprechender Weise kann die mindestens eine stromabwärtige Ausgangsöffnung eine oder mehrere Ausgangsöffnungen umfassen.

15 Der Bypass-Kanal erstreckt sich zumindest teilweise in axialer Richtung im Zentralkörper. Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung erstreckt sich der Bypass-Kanal zumindest teilweise entlang der Längsachse des Zentralkörpers.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Zentralkörper über mindestens eine

20 Strebe mit der Schubdüsenwand verbunden ist. Dieser Erfindungsaspekt beruht auf dem Gedanken, den im Strömungskanal angeordneten Zentralkörper ausschließlich über eine oder mehrere Streben mit der Schubdüsenwand zu verbinden und dadurch zu erreichen, dass auf den Zentralkörper wirkende Lasten direkt in die Schubdüsenwand eingeleitet werden. Eine Aufhängung des Zentralkörpers an hinteren Bereichen des Kerntriebwerks

25 und eine damit verbundene Einleitung von auf den Zentralkörper wirkende Lasten in das Kerntriebwerk und/oder Rotor-Lagerstrukturen des Triebwerks sind bei dieser Ausführungsvariante dagegen nicht vorgesehen.

Dabei kann vorgesehen sein, dass die Streben ein strömungsgünstiges Profil mit einer

30 Vorderkante und einer Hinterkante aufweisen. Das Profil ist aerodynamisch optimiert, um den durch die Streben erzeugten Luftwiderstand zu minimieren. Das Profil ist dabei gemäß einer Ausführungsvariante symmetrisch ausgeführt und nicht dazu ausgebildet, einen Auftrieb zu erzeugen.

35 Der Zentralkörper kann grundsätzlich über eine oder mehrere Streben mit der Schubdüsenwand verbunden sein, beispielsweise über zwei, drei, vier oder fünf Streben, die in Umfangsrichtung äquidistant zueinander angeordnet sind. Eine Ausgestaltung der

Erfindung sieht vor, dass der Zentralkörper über genau zwei Streben mit der Schubdüsenwand verbunden ist, wobei die beiden Streben näherungsweise in einer Ebene angeordnet sind, d. h. in Umfangsrichtung um etwa 180° beabstandet sind, wobei auch leicht winklige Anordnungen der beiden Streben zueinander möglich sind, beispielsweise mit einer Beabstandung der Oberseiten in Umfangsrichtung im Bereich zwischen 160° und 200°. Durch die Verwendung von zwei Streben wird eine leichtgewichtige und die Strömung im Strömungskanal nur minimal beeinflussende Aufhängung des Zentralkörpers an der Schubdüsenwand ermöglicht.

- 10 Die Streben können massiv oder in Leichtbauweise, insbesondere im Wesentlichen hohl oder mit definierten Hohlräumen ausgebildet sein.

Eine Ausführungsvariante sieht vor, dass mindestens eine stromaufwärtige Eingangsöffnung des Bypass-Kanals in einer der Streben ausgebildet ist. Insbesondere ist eine solche stromaufwärtige Eingangsöffnung im Bereich der Vorderkante der entsprechenden Strebe ausgebildet. Dabei bildet der Bypass-Kanal einen ersten stromaufwärtigen Abschnitt in mindestens einer der Streben und einen zweiten stromabwärtigen Abschnitt im Zentralkörper aus. Gemäß dieser Ausführungsvariante ist der Bypass-Kanal somit nicht ausschließlich im Zentralkörper ausgebildet, sondern sowohl in den Streben als auch im Zentralkörper. Beispielsweise weist der Bypass-Kanal an seinem stromaufwärtigen Ende zwei Arme auf, die jeweils an der Vorderkante einer Strebe beginnen und dort jeweils eine Eingangsöffnung ausbilden, wobei die beiden Arme in axialer Richtung zusammenlaufen und sich im Zentralkörper oder vor diesem vereinigen.

25

Es wird darauf hingewiesen, dass die Verbindung des Zentralkörpers mit der Schubdüsenwand über mindestens eine Strebe nur ein Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellt. Alternativ kann beispielsweise vorgesehen sein, dass der Zentralkörper über eine auf der Maschinenachse angeordnete Düsenadel im Strömungskanal angeordnet und dort fixiert ist.

30

Wie bereits ausgeführt, ist der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals einstellbar. Eine solche Einstellbarkeit kann gemäß einer einfachen Ausgestaltung der Erfindung dadurch bereitgestellt werden, dass austauschbare Trimmeinsätze mit definierter Querschnittsfläche am Anfang oder am Ende des Bypass-Kanals in diesen eingesetzt werden. Eine solche Einstellung des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals erfolgt beispielsweise auf einem Prüfstand.

35

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals durch mindestens einen Aktuator, über den eine Querschnittsfläche des Bypass-Kanals einstellbar ist, kontinuierlich einstellbar ist. Die kontinuierliche Einstellbarkeit des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals ermöglicht eine Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche während des Flugbetriebs und dabei eine fortlaufende Anpassung der effektiven Düsenhalsfläche an den aktuellen Betriebszustand.

Bei der einstellbaren Querschnittsfläche handelt es sich beispielsweise um die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung des Bypass-Kanals (bzw. die Querschnittsfläche mindestens einer Eingangsöffnung des Bypass-Kanals, sofern der Bypass-Kanal mehrere Eingangsöffnungen aufweist). Die einstellbare Querschnittsfläche stellt dabei, wenn sie nicht maximal eingestellt ist, die kleinste Querschnittsfläche im Bypass-Kanal dar, so dass über die einstellbare Querschnittsfläche der Massenstrom durch den Bypass-Kanal eingestellt wird. Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der einstellbaren Querschnittsfläche um die Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals (bzw. um die Querschnittsfläche mindestens einer Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals, sofern der Bypass-Kanal mehrere Ausgangsöffnungen aufweist). Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die einstellbare Querschnittsfläche nicht notwendigerweise an der Eingangsöffnung oder der Ausgangsöffnung realisiert sein muss, sondern alternativ auch an einer axialen Position zwischen der Eingangsöffnung und der Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals ausgebildet sein kann.

Eine hinsichtlich ihrer Querschnittsfläche einstellbare Eingangsöffnung und/oder eine hinsichtlich ihrer Querschnittsfläche einstellbare Ausgangsöffnung wird beispielsweise durch Ventilkappen, Irisblenden, mit verstellbaren Lamellen versehene Öffnungen, axial verschiebbare Zentralkörper oder dergleichen gebildet.

So sieht eine Ausgestaltung der Erfindung vor, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals durch einen im Bypass-Kanal in axial Richtung bewegbaren Verschlusskörper einstellbar ist, dessen axiale Position den Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals definiert. Dabei kann vorgesehen sein, dass der in axialer Richtung bewegbare Verschlusskörper relativ zu einer stromaufwärtigen Eingangsöffnung oder relativ zu einer stromabwärtigen Ausgangsöffnung des Zentralkörpers in axialer Richtung verschiebbar ist, wobei der Verschlusskörper beispielsweise eine Tropfenform aufweist.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist der mindestens eine Aktuator, über den eine Querschnittsfläche des Bypass-Kanals einstellbar ist, in oder radial außerhalb der Schubdüsenwand angeordnet ist, die den Strömungskanal radial außen begrenzt. Damit befindet sich der Aktuator in der „kalten Struktur“ der Schubdüse, d.h. er ist den heißen Gasen im Strömungskanal nicht ausgesetzt. Hierdurch wird ein Verschleiß des Aktuators minimiert und kann dieser kostengünstiger ausgebildet werden.

Die erfindungsgemäße Schubdüse kommt grundsätzlich ohne eine verstellbare Geometrie aus, d. h. die Düsenhalsfläche und die Düsenaustrittsfläche sind in ihrer Geometrie nicht veränderbar. Als Düsenhalsfläche wird wie bereits erläutert die engste bzw. kleinste Querschnittsfläche des Strömungskanals zwischen Zentralkörper und Schubdüsenwand bezeichnet. Als Düsenaustrittsfläche wird die Querschnittsfläche des Strömungskanals am hinteren Ende der Schubdüse bezeichnet. Die Schubdüsenwand ist somit gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung in ihrer Geometrie nicht einstellbar.

Der Zentralkörper kann grundsätzlich auf vielfältige Weise geformt sein. Ausgestaltungen sehen vor, dass der Zentralkörper ein stromaufwärtige Ende und ein stromabwärtiges Ende aufweist und zwischen diesen mindestens ein Maximum seiner Querschnittsfläche ausbildet. Vom stromaufwärtigen Ende vergrößert sich die Querschnittsfläche in axialer Richtung ausgehend von Null oder einem Anfangswert größer Null bis zu dem mindestens einen Maximum. Zum stromabwärtigen Ende hin reduziert sich die Querschnittsfläche auf Null oder einen Endwert größer als Null. Dabei kann vorgesehen sein, dass der Zentralkörper am stromaufwärtigen Ende und/oder am stromabwärtigen Ende konisch geformt ist. Der Zentralkörper ist gemäß einer Auszugsvariante ausschließlich über Streben im Strömungskanal angeordnet.

Gemäß einer Auszugsvariante der Erfindung ist der Zentralkörper in axialer Richtung räumlich fixiert. Hierdurch wird eine einfache und kostengünstige Lösung bereitgestellt. Eine Einstellbarkeit der effektiven Düsenhalsfläche wird dabei über den Bypass-Kanal ermöglicht.

Alternativ kann vorgesehen sein, dass der Zentralkörper in axialer Richtung verschiebbar angeordnet ist. Durch eine axiale Verschiebbarkeit des Zentralkörpers wird eine Schubdüse mit einem Strömungskanal bereitgestellt, der eine variable Düsenhalsfläche und eine variable Düsenaustrittsfläche ausbildet, wobei die aktuellen Werte der Düsenhalsfläche und der Düsenaustrittsfläche von der axialen Position des

Zentralkörpers abhängen. Die Einstellbarkeit von Düsenhalsfläche und Düsenaustrittsfläche stellt eine zusätzliche Möglichkeit (zusätzlich zu der Einstellbarkeit des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals) dar, den Expansionsgrad des Strömungskanals hinter der Düsenhalsfläche, also das Verhältnis $A9/A8$ einzustellen.

5

Zur Realisierung einer axialen Verschiebbarkeit des Zentralkörpers sieht eine Ausgestaltung der Erfindung vor, dass der Zentralkörper relativ zu den Streben axial verschiebbar sind. Hierzu sind beispielsweise eine Schienenführung und Aktuatoren vorgesehen, mittels derer der Zentralkörper relativ zu den radial inneren Enden der Streben in axialer Richtung verschiebbar ist. Eine alternative Ausgestaltung sieht zur axialen Verschiebbarkeit des Zentralkörpers vor, dass die Streben relativ zur Schubdüsenwand axial verschiebbar sind. Eine Verschiebbarkeit des Zentralkörpers relativ zu den Streben ist dabei nicht erforderlich. Zur Realisierung einer Verschiebbarkeit der Streben relativ zu der Schubdüsenwand sind wiederum beispielsweise eine Schienenführung und Aktuatoren vorgesehen, mittels derer die radial äußeren Enden der Streben in axialer Richtung relativ zur Schubdüsenwand verschiebbar sind. Als Aktuatoren dienen beispielsweise hydraulische Kolben oder Elektromotoren.

10

15

20

25

30

Bei beiden Ausgestaltungen kann vorgesehen sein, dass die Aktuatoren, die eine axiale Verschiebbarkeit des Zentralkörpers bewirken, in der Schubdüsenwand (z.B. an der dem Strömungskanal abgewandten Seite einer inneren Düsenwand) und damit in der „kalten Struktur“ (außerhalb der heißen Gase des Strömungskanals) angeordnet sind. Dabei kann vorgesehen sein, dass die Verstellkraft bzw. das für eine Verstellung übertragene Drehmoment über ein durch Gelenke verbundenes Gestänge oder dergleichen an die Schnittstelle zwischen Zentralkörper und Streben bzw. an die Schnittstelle zwischen Streben und Schubdüsenwand übertragen wird, wo die übertragene Kraft bzw. das übertragene Drehmoment in eine translatorische Bewegung umgewandelt wird. Sofern der Zentralkörper relativ zu den Streben verschiebbar ist, ist vorgesehen, dass ein solches Gestänge durch in den Streben ausgebildete Hohlräume zur Schnittstelle zwischen dem Zentralkörper und den Streben geführt wird.

35

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Schubdüse als konvergente Schubdüse, als konvergent-divergente Schubdüse oder als konvergent-zylindrische Schubdüse ausgebildet ist. Dementsprechend ist in den beiden letztgenannten Fällen die Schubdüsenwand derart ausgestaltet, dass sie einen engsten Querschnitt und einen im Vergleich dazu größeren oder identischen Austrittsquerschnitt aufweist. Die Ausbildung der Schubdüse als konvergent-divergente Schubdüse oder als konvergent-zylindrische

Schubdüse ist jedoch nicht zwingend. Beispielsweise kann die Schubdüse alternativ als Schubdüse ausgebildet sein, bei der die Düsenhalsfläche und die Düsenaustrittsfläche der Schubdüsenwand zusammenfallen.

- 5 Bei der erfindungsgemäßen Schubdüse handelt es sich gemäß einem Ausführungsbeispiel um eine integrale Schubdüse, wobei der Primärstrom durch das Kerntriebwerk und der Sekundärstrom durch den Bypass-Kanal vermischt werden, bevor sie in die integrale Schubdüse geleitet werden. Alternativ kann es sich bei der erfindungsgemäßen Schubdüse um eine separate Schubdüse für den Primärstromkanal
10 handeln.

Die Erfindung betrifft in weiteren Erfindungsaspekten ein Turbofan-Triebwerk für ein ziviles oder militärisches Überschallflugzeug mit einer erfindungsgemäßen Schubdüse. Das Turbofan-Triebwerk kann einen Schubumkehrer aufweisen.

15

Gemäß einem weiteren Erfindungsaspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche einer Schubdüse in einem Prüfstand, gekennzeichnet durch:

- Betreiben eines Turbofan-Triebwerks mit einer erfindungsgemäßen Schubdüse in
20 einem Prüfstand;
- Einstellen desjenigen Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals, bei dem die sich aus der Summe des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals und der Düsenhalsfläche ergebende effektive Düsenhalsfläche einem gewünschten Wert entspricht; und
- Fixieren des eingestellten Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals.

25

Dieses Verfahren ermöglicht in einfacher Weise die exakte Einstellung eines vorgegebenen Wertes für die effektive Düsenhalsfläche auch bei mit Fertigungstoleranzen behafteten Komponenten, die den Strömungskanal begrenzen.

- 30 Das Fixieren des eingestellten Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals kann beispielsweise durch mindestens einen Trimmeinsatz mit einer definierten Querschnittsfläche erfolgen, der am Anfang oder am Ende des Bypass-Kanals in diesen eingesetzt wird. Dabei können mehrere Trimmeinsätze mit unterschiedlichem Öffnungsquerschnitt vorgehalten werden.

35

Gemäß einem weiteren Erfindungsaspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche einer erfindungsgemäßen Schubdüse eines Turbofan-Triebwerks während dessen Betrieb. Das Verfahren ist gekennzeichnet durch:

- Variieren des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals in Abhängigkeit vom Betriebspunkt des Triebwerks derart, dass
- die sich aus der Summe des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals und der Düsenhalsfläche des Strömungskanals ergebende effektive Düsenhalsfläche bei jedem Betriebszustand einem gewünschten Wert entspricht.

- 10 Dieses Verfahren nutzt eine kontinuierliche Einstellbarkeit des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals dazu, die effektive Düsenhalsfläche in Abhängigkeit vom Betriebspunkt des Triebwerks optimal einzustellen. Eine Auszugsvariante hierzu sieht vor, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals beim Start maximal eingestellt wird, um die Gefahr eines Sperrens („choking“) der Schubdüse beim Start zu minimieren.

15

Es wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Erfindung bezogen auf ein zylindrisches Koordinatensystem beschrieben ist, das die Koordinaten x , r und φ aufweist. Dabei gibt x die axiale Richtung, r die radiale Richtung und φ den Winkel in Umfangsrichtung an. Die axiale Richtung ist dabei identisch mit der Maschinenachse des

- 20 Turbofan-Triebwerks und auch identisch mit der Längsachse des Zentralkörpers. Von der x -Achse ausgehend zeigt die radiale Richtung radial nach außen. Begriffe wie „vor“, „hinter“, „vordere“ und „hintere“ beziehen sich immer auf die axiale Richtung bzw. die Strömungsrichtung im Triebwerk. Die Bezeichnung „vor“ bedeutet somit „stromaufwärts“ und die Bezeichnung „hinter“ bedeutet „stromabwärts“. Begriffe wie „äußere“ oder
- 25 „innere“ beziehen sich immer auf die radiale Richtung.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- 30 **Figur 1** eine vereinfachte schematische Schnittdarstellung eines Turbofan-Triebwerks, in dem die vorliegende Erfindung realisierbar ist, wobei das Turbofan-Triebwerk zur Verwendung in einem zivilen oder militärischen Überschallflugzeug geeignet ist;
- 35 **Figur 2** in einer Schnittansicht ein Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der über zwei Streben mit der Schubdüsenwand der Schubdüse verbunden ist;

- Figur 3 die Schubdüse der Figur 2 in einer perspektivischen Ansicht schräg von vorne;
- 5 Figur 4 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung des Bypass-Kanals einstellbar ist;
- 10 Figur 5 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei die Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals einstellbar ist;
- 15 Figur 6 ein drittes Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung des Bypass-Kanals einstellbar ist und die Eingangsöffnung an der Vorderkante von Streben ausgebildet ist, die den Zentralkörper mit der Schubdüsenwand verbinden;
- 20 Figur 7 ein viertes Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei der Bypass-Kanal teilweise in Streben ausgebildet ist, die den Zentralkörper mit der Schubdüsenwand verbinden, und wobei in den Streben jeweils eine in ihrer Querschnittsfläche einstellbare Eingangsöffnung des Bypass-Kanals ausbildet ist;
- 25 Figur 8 ein fünftes Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei der Bypass-Kanal teilweise in Streben ausgebildet ist, die den Zentralkörper mit der Schubdüsenwand verbinden, und wobei die Querschnittsfläche der im Zentralkörper ausgebildeten Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals einstellbar ist;
- 30 Figur 9 ein sechstes Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals durch einen tropfenförmigen Verschlusskörper einstellbar ist, der relativ zu einer stromabwärtigen Ausgangsöffnung des Zentralkörpers in axialer Richtung bewegbar ist;
- 35

Figur 10 ein siebtes Ausführungsbeispiel einer Schubdüse mit einem Zentralkörper, der einen Bypass-Kanal ausbildet, wobei der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals durch einen tropfenförmigen Verschlusskörper einstellbar ist, der relativ zu einer stromaufwärtigen Eingangsöffnung des Zentralkörpers in axialer Richtung bewegbar ist;

Figur 11a einen Trimmeinsatz in einer Ansicht von vorne; und

Figur 11b den Trimmeinsatz der Figur 11a in einer Seitenansicht.

Die Figur 1 zeigt ein Turbofan-Triebwerk, das dafür vorgesehen und geeignet ist, in einem zivilen oder militärischen Überschallflugzeug eingesetzt zu werden und dementsprechend für Betriebszustände im subsonischen Bereich, im transsonischen Bereich und im supersonischen Bereich ausgelegt ist.

Das Turbofan-Triebwerk 100 umfasst einen Triebwerkseinlauf 101, einen Fan 102, der mehrstufig ausgebildet sein kann, einen Primärstromkanal 103, der durch ein Kerntriebwerk führt, einen Sekundärstromkanal 104, der an dem Kerntriebwerk vorbei führt, einen Mischer 105 und eine konvergent-divergente Schubdüse 2, in die ein Schubumkehrer 8 integriert sein kann ist.

Das Turbofan-Triebwerk 100 besitzt eine Maschinenachse oder Triebwerksmittellinie 10. Die Maschinenachse 10 definiert eine axiale Richtung des Turbofan-Triebwerks. Eine radiale Richtung des Turbofan-Triebwerks verläuft senkrecht zur axialen Richtung.

Das Kerntriebwerk weist in an sich bekannter Weise einen Verdichter 106, eine Brennkammer 107 und eine Turbine 108, 109 auf. Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst der Verdichter einen Hochdruckverdichter 106. Ein Niederdruckverdichter ist durch die nabennahen Bereiche des mehrstufigen Fans 102 gebildet. Die hinter der Brennkammer 107 angeordnete Turbine umfasst eine Hochdruckturbine 108 und eine Niederdruckturbine 109. Die Hochdruckturbine 108 treibt eine Hochdruckwelle 110 an, die die Hochdruckturbine 108 mit dem Hochdruckverdichter 106 verbindet. Die Niederdruckturbine 109 treibt eine Niederdruckwelle 111 an, die die Niederdruckturbine 109 mit dem mehrstufigen Fan 102 verbindet. Gemäß einer alternativen Ausgestaltung kann das Turbofan-Triebwerk zusätzlich einen Mitteldruckverdichter, eine Mitteldruckturbine und eine Mitteldruckwelle aufweisen. Weiter kann in einer alternativen

Ausgestaltung vorgesehen sein, dass der Fan 102 über ein Untersetzungsgetriebe, beispielsweise ein Planetengetriebe mit der Niederdruckwelle 111 gekoppelt ist.

Das Turbofan-Triebwerk ist in einer Triebwerksgondel 112 angeordnet. Diese ist
5 beispielsweise über einen Pylon mit dem Flugzeugrumpf verbunden.

Der Triebwerkseinlauf 101 bildet einen Überschall-Lufteinlauf und ist dementsprechend dafür vorgesehen und geeignet, die einströmende Luft auf Geschwindigkeiten unterhalb $Ma\ 1,0$ (Ma = Mach-Zahl) zu verzögern. Der Triebwerkseinlauf ist in der Figur 1, jedoch
10 nicht notwendigerweise, unter Ausbildung eines Winkels α angeschrägt, wobei der untere Rand gegenüber dem oberen Rand vorsteht. Dies dient dazu, im Überschallflug auftretende Verdichtungsstöße besser nach oben zu verteilen. Grundsätzlich kann der Triebwerkseinlauf jedoch auch gerade, d.h. mit einem Winkel α von 90° , oder mit einem anderen Winkel ausgebildet sein.

15

Der Strömungskanal durch den Fan 102 teilt sich hinter dem Fan 102 in den Primärstromkanal 103 und den Sekundärstromkanal 104 auf. Der Sekundärstromkanal 104 wird auch als Nebenstromkanal oder Bypass-Kanal bezeichnet.

20 Hinter dem Kerntriebwerk werden der Primärstrom im Primärstromkanal 103 und der Sekundärstrom im Sekundärstromkanal 104 durch den Mischer 105 vermischt. Weiter ist hinter der Turbine ein Austrittskonus 113 angebracht, um gewünschte Querschnitte des Strömungskanals zu realisieren.

25 Der hintere Bereich des Turbofan-Triebwerks wird durch eine integrale Schubdüse 2 gebildet, wobei der Primärstrom und der Sekundärstrom im Mischer 105 gemischt werden, bevor sie in die integrale Schubdüse 2 geleitet werden. Dabei bildet das Triebwerk hinter dem Mischer 105 einen Strömungskanal 25, der sich durch die Schubdüse 2 erstreckt. Alternativ können separate Schubdüsen für den
30 Primärstromkanal 103 und den Sekundärstromkanal 104 bereitgestellt werden.

Im Kontext der vorliegenden Erfindung ist die Ausgestaltung der Schubdüse 2 von Bedeutung, die in der Figur 1 nur schematisch dargestellt ist. Bevor die vorliegende Erfindung anhand der Figuren 4-10 erläutert wird, wird zuvor der grundlegende Aufbau
35 einer Schubdüse 2, in der die Erfindung gemäß einer Ausführungsvariante realisiert ist, zum besseren Verständnis der Erfindung anhand der Figuren 2 und 3 beschrieben.

Die Figur 2 zeigt eine konvergent-divergenten Schubdüse 2 in einem Längsschnitt, der die Maschinenachse 10 enthält. Die Schubdüse 2 umfasst eine Schubdüsenwand 20, die durch eine Innenwand 21 und eine Außenwand 22 gebildet wird. Dabei bildet die Innenwand 21 innenseitig die radial äußere Berandung des Strömungskanals 25 in der Schubdüse 2. Die Außenwand 22 ist radial außen zur Innenwand 21 ausgebildet und grenzt an die Umgebung an. Die Innenwand 21 und die Außenwand 22 laufen stromabwärts spitz aufeinander zu und bilden an ihrem stromabwärtigen Ende eine Düsenaustrittskante 23.

Die Schubdüse 2 umfasst des Weiteren einen als Rotationskörper ausgebildeten Zentralkörper 5, der eine Oberfläche 55 ausbildet. Der Zentralkörper 5 weist eine Längsachse auf, die identisch mit der Maschinenachse 10 ist. Der Zentralkörper 5 bildet ein stromaufwärtiges Ende 51, ein stromabwärtiges Ende 52 und zwischen dem stromaufwärtigen Ende 51 und dem stromabwärtigen Ende 52 ein Maximum 53 seiner Querschnittsfläche auf. Dabei ist im dargestellten Ausführungsbeispiel, jedoch nicht notwendigerweise vorgesehen, dass der Zentralkörper 5 angrenzend an sein stromaufwärtiges Ende 51 und zu seinem stromabwärtigen Ende 52 hin konisch ausgebildet ist. Es ist vorgesehen, dass der Zentralkörper 5 einen Bypass-Kanal ausbildet, der in den Figuren 2 und 3 nicht dargestellt ist, jedoch anhand der Figuren 4-10 näher erläutert werden wird.

Das stromaufwärtige Ende 51 des Zentralkörpers 5 kann durch einen Punkt (wie dargestellt) oder durch eine Fläche gebildet sein. Ebenso kann das stromabwärtige Ende 52 durch einen Punkt oder eine Fläche (wie dargestellt) gebildet sein.

Die Schubdüse 2 bildet eine Düsenhalsfläche A8, an der die Querschnittsfläche zwischen dem Zentralkörper 5 und der Innenwand 21 minimal ist. Typischerweise ist die axiale Position der Düsenhalsfläche A8 durch die axiale Position des Maximums 53 des Zentralkörpers 5 definiert. Dies ist jedoch nicht notwendigerweise der Fall. An der Düsenaustrittskante 23 bildet die Schubdüse eine Düsenaustrittsfläche A9. Diese ist gleich der Differenz zwischen der Querschnittsfläche, die die Innenwand 21 an der Düsenaustrittskante 23 bildet und der Querschnittsfläche des Zentralkörpers 5 in der betrachteten Ebene. Das Verhältnis A9 zu A8 definiert den Expansionsgrad des Strömungskanals 25 hinter der Düsenhalsfläche A8.

Die Schubdüse 2 umfasst des Weiteren zwei Streben 31, 32, die den Zentralkörper 5 mit der Schubdüsenwand 20, nämlich der Innenwand 21 verbinden und sich dazu vom

Zentralkörper 5 in radialer Richtung durch den Strömungskanal 25 zur Schubdüsenwand 20 erstrecken. Die Streben 31, 32 weisen jeweils ein strömungsgünstiges, symmetrisches Profil mit einer Vorderkante 311, 321 und einer Hinterkante 312, 322, sowie mit einer Oberseite und einer Unterseite (die in der Schnittdarstellung der Figur 2 nicht darstellbar sind) auf. Jede Strebe 31, 32 weist des Weiteren ein radial äußeres Ende 313, 323, an dem es mit der Innenwand 21 verbunden ist, und ein radial inneres Ende 314, 324, an dem es mit dem Zentralkörper 5 verbunden ist, auf. Das radial äußere Ende 313, 323 bildet dabei eine Schnittstelle zur Innenwand 21 und das radial innere Ende 314, 324 eine Schnittstelle zum Zentralkörper 5 aus.

Dabei verhält es sich im dargestellten Ausführungsbeispiel, jedoch nicht notwendigerweise so, dass die Streben 31, 32 an ihren radial inneren Enden 314, 324 an ihren Vorderkanten 311, 321 und in einem ein die Vorderkanten 311, 321 angrenzenden, stromaufwärtigen Bereich 33 unmittelbar aneinander angrenzen. Dementsprechend bilden sie eine gemeinsame, durchgehende Vorderkante, die nicht durch den Zentralkörper 5 unterbrochen ist. Die gemeinsame Vorderkante 311, 321 bildet dabei im dargestellten Ausführungsbeispiel eine gebogene Kurve, die an ihren an die Schubdüsenwand 21 angrenzenden, radial äußeren Enden am weitesten stromaufwärts und an der Mittellinie 10 der Schubdüse 2 am stärksten stromabwärts verläuft, wobei sie die Mittellinie 10 senkrecht schneidet.

In anderen Ausführungsbeispielen grenzt der Zentralkörper 5 bis an die Vorderkanten 31, 32 oder steht gegenüber diesen axial vor.

Aufgrund der Ausbildung eines Bereichs 33, in dem die radial inneren Enden 314, 324 der Streben 31, 32 aneinander angrenzen, liegt das stromaufwärtige Ende 51 des Zentralkörpers 5 stromabwärts der Vorderkante 311, 321 der Streben 31, 32. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass das stromaufwärtige Ende 51 des Zentralkörpers 5 stromaufwärts der Düsenhalsfläche A8 liegt. Das stromabwärtige Ende 52 des Zentralkörpers 5 liegt stromabwärts der Düsenhalsfläche A8 und auch stromabwärts der Düsenaustrittsfläche A9. Die axiale Position, an der der Zentralkörper 5 das Maximum 53 seiner Querschnittsfläche bildet, liegt stromabwärts der Hinterkanten 312, 323 der Streben 31, 32, wobei dies nicht notwendigerweise der Fall ist.

Die Streben 31, 32 sind näherungsweise in einer Ebene angeordnet, die die Maschinenachse 10 enthält. Eine Anordnung der Streben „näherungsweise“ in einer Ebene liegt dabei insofern vor, als die Streben entsprechend dem Profil, das sie

ausbilden, eine dreidimensionale Ausdehnung besitzen. Des Weiteren kann grundsätzlich auch vorgesehen sein, dass die beiden Streben 31, 32 winklig zueinander angeordnet sind.

- 5 In dem Ausführungsbeispiel der Figur 2 ist der Zentralkörper 5 fest gegenüber den Streben 31, 32 und sind die Streben 31, 32 fest gegenüber der Innenwand 21 fixiert, so dass der Zentralkörper 5 im Strömungskanal 25 nicht axial verschiebbar ist. In anderen Ausführungsbeispielen ist eine solche Verschiebbarkeit dagegen gegeben.
- 10 Die Figur 3 zeigt eine perspektivische Darstellung einer Schubdüse 2, die entsprechend der Figur 2 ausgebildet ist. Dabei ist die Außenwand 22 der Figur 2 nicht und die Innenwand, die den Strömungskanal radial außen begrenzt, nur teilweise dargestellt. Die Innenwand umfasst strukturell verstärkte Seitenstrukturen 21a, die beispielsweise durch Streben 210 verstärkt sind. Die verstärkten Seitenstrukturen 21a umfassen Lagerpunkte
- 15 211 für Schubumkehrertüren, die in den Figuren 4 und 5 dargestellt sind. Die Seitenstrukturen 21 sind über halbkreisförmige Strukturelemente 71, 72, 73 oben und unten miteinander verbunden. Die Strukturelemente 71, 72, 73 bilden dabei auch eine Struktur zur Befestigung der in der Figur 2 dargestellten Außenwand 22.
- 20 Die Schubdüse 2 umfasst, wie in Bezug auf die Figur 2 beschrieben, einen Zentralkörper 5, der durch zwei strömungsgünstige Streben 31, 32 mit der Innenwand 21 fest verbunden ist.

Die Schubdüse 2 weist des Weiteren einen stromaufwärtigen Kopplungsbereich für eine

25 Verbindung der Schubdüse 2 mit Gehäusekomponenten des Kerntriebwerks, beispielsweise zur Verbindung mit einem Turbinengehäuse auf. Dieser Kopplungsbereich bildet eine Schnittstelle zur Befestigung der Schubdüse 2 und wird im dargestellten Ausführungsbeispiel durch einen ringförmigen Flansch 6 gebildet. Auf den Zentralkörper 5 wirkende Lasten werden dabei über die Streben 31, 32 und die verstärkten

30 Seitenstrukturen 21a auf den ringförmigen Flansch 6 geleitet, über den sie in mit dem Flansch 6 verbundene Gehäusekomponenten abgeleitet werden können.

Der Zentralkörper 5 bildet einen Bypass-Kanal aus. Ein erstes Ausführungsbeispiel hierzu ist in der Figur 4 dargestellt. Der Aufbau der Schubdüse 2 entspricht bis auf die

35 Ausgestaltung des Zentralkörpers 5 mit einem Bypass-Kanal dem Aufbau der Figuren 2 und 3. Gemäß der Figur 4 erstreckt sich in dem Zentralkörper 5 in axialer Richtung ein Bypass-Kanal 4, der eine stromaufwärtige Eingangsöffnung 41 und eine stromabwärtige

Ausgangsöffnung 42 umfasst. Der Bypass-Kanal 4 ist lediglich schematisch dargestellt. Er verläuft beispielsweise mit konstantem Durchmesser entlang der Längsachse des Zentralkörpers 5. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass die Form des Bypass-Kanals 4 grundsätzlich beliebig sein kann. Beispielsweise ist alternativ möglich, dass der Zentralkörper 5 insgesamt hohl ausgebildet ist, wobei das hohle Innere des Zentralkörpers 5 insgesamt als Bypass-Kanal 4 dient.

Die Eingangsöffnung 41 des Bypass-Kanals 4 ist am stromaufwärtigen Ende 51 des Zentralkörpers 5 ausgebildet. Die Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4 ist am stromabwärtigen Ende 52 des Zentralkörpers 5 ausgebildet. Weiter verhält es sich so, dass die Eingangsöffnung 41 stromaufwärts der Düsenhalsfläche A8 des Strömungskanals 25 und die Ausgangsöffnung 42 stromabwärts der Düsenhalsfläche A8 des Strömungskanals 25 angeordnet ist.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Eingangsöffnung 41 und die Ausgangsöffnung 42 in der Figur 4 und auch in den weiteren Figuren nur schematisch dargestellt sind. Die Eingangsöffnung kann aus genau einer Eingangsöffnung oder aus einer Mehrzahl von Eingangsöffnungen bestehen. In letzterem Fall kann beispielsweise vorgesehen sein, dass eine Mehrzahl von Eingangsöffnungen in Umfangsrichtung beabstandet am stromaufwärtigen Abschnitt des Zentralkörpers 5 ausgebildet sind. Die Eingangsöffnungen können beispielsweise durch Ventilkappen gebildet sein, die sich zum Zentralkörper 5 hin öffnen. Ebenso kann die Ausgangsöffnung aus genau einer Ausgangsöffnung oder aus einer Mehrzahl von Ausgangsöffnungen bestehen.

Die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung 41 des Bypass-Kanals 4 ist mittels eines Aktuators 15 kontinuierlich einstellbar. Der Aktuator 15 ist beispielsweise ein Elektromotor oder ein pneumatisch betriebener Kolben, der über eine Wirkverbindung 16, beispielsweise ein mit Gelenken versehenes Gestänge 16, mit der Eingangsöffnung 41 gekoppelt ist. Die Wirkverbindung 16 wird dabei in entsprechenden Hohlräumen oder Kanälen in der Strebe 31 geführt. Der Aktuator 15 ist an der Außenseite der Innenwand 21 der Schubdüsenwand 20 angeordnet und damit in der „kalten Struktur“ der Schubdüse 2. Dies ist mit dem Vorteil verbunden, dass der Aktuator 15 nicht den heißen Gasen im Strömungskanal ausgesetzt ist.

Die verstellbare Eingangsöffnung 41 kann auf vielfältige Weise gebildet sein. Beispielsweise wird sie durch eine Irisblende, eine Öffnung mit verstellbaren Lamellen oder durch einen in der Eingangsöffnung 41 axial verschiebbaren Verschlusskörper

gebildet. Zu dem letztgenannten Fall zeigt die Figur 10 ein Ausführungsbeispiel, das noch erläutert wird.

Über die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung 41 wird der Öffnungsgrad bzw. der
5 maximale Massenstrom A durch den Bypass-Kanal 4 eingestellt. Durch maximales Öffnen der Eingangsöffnung 41 kann die effektive Düsenhalsfläche vergrößert werden, wodurch der Expansionsgrad der Schubdüse 2 verringert wird. Bei Schließen der Eingangsöffnung 41 wird die effektive Düsenhalsfläche allein bestimmt durch die kleinste Querschnittsfläche A8 im Strömungskanal zwischen dem Zentralkörper 5 und der
10 Innenwand 21. Die effektive Düsenhalsfläche ist dementsprechend geringer, wodurch der Expansionsgrad der Schubdüse 2 vergrößert wird.

Für die Festlegung des Massenstroms durch den Bypass-Kanal 4 ist es ausreichend, eine Querschnittsfläche des Bypass-Kanals einstellen zu können. Insofern kommt es
15 nicht darauf an, wie der Bypass-Kanal 4 ansonsten im Einzelnen geformt ist. Bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 4 wird als Querschnittsfläche die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung 41 eingestellt.

Die Figur 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Querschnittsfläche der
20 Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4 einstellbar ist. Die Einstellung erfolgt über einen Aktuator 15 und eine Wirkverbindung 16.

In weiteren Ausführungsbeispielen kann vorgesehen sein, dass Aktuatoren zur Einstellung der Querschnittsfläche sowohl an der Eingangsöffnung 41 als auch an der
25 Ausgangsöffnung 42 vorgesehen sind. Grundsätzlich spielt es keine Rolle, wo im Strömungsfahrt des Bypass-Kanals 4 die Querschnittsfläche eingestellt wird. Die Einstellung kann auch durch eine Kombination von einstellbaren Abschnitten an der Eingangsöffnung 41 und an der Ausgangsöffnung 42 erfolgen.

Die Figur 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel, dass bis auf dem Umstand dem
30 Ausführungsbeispiel der Figur 4 entspricht, dass die in ihrer Querschnittsfläche einstellbare Eingangsöffnung 41 an der Vorderkante 311, 312 der Streben 31, 32 ausgebildet ist. Hierzu kann vorgesehen sein, dass der Zentralkörper 5 bis zu der Vorderkante 311, 312 verlängert ist. Eine Einstellung der Querschnittsfläche erfolgt
35 wiederum durch einen Aktuator 15 und eine Wirkverbindung 16.

Figuren 4-6 betreffen Ausführungsbeispiele, bei denen der Bypass-Kanal 4 ausschließlich im Zentralkörper 5 ausgebildet ist. Dies ist jedoch nicht notwendigerweise der Fall. Die Figur 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem der Bypass-Kanal 4 stromaufwärtige Abschnitte 43, 44 umfasst, die in den Streben 31, 32 ausgebildet sind.

5 So weist der Bypass-Kanal 4 bei diesem Ausführungsbeispiel zwei Eingangsöffnungen 41a, 41b auf, die beabstandet zur Mittellinie an der jeweiligen Vorderkante 311, 312 der beiden Streben 31, 32 ausgebildet sind. Von diesen Eingangsöffnungen 41a, 41b verlaufen die beiden stromaufwärtigen Abschnitte 43, 44 schräg in Richtung zum Zentralkörper 5 und vereinigen sich dort zu einem stromabwärtigen Abschnitt 45, der an
10 der Ausgangsöffnung 42 endet.

Der Massenstrom A wird durch die beiden Eingangsöffnungen 41a, 41b bzw. die Querschnittsfläche, die diese insgesamt bilden, definiert. Die Querschnittsfläche der Eingangsöffnungen 41a, 41b wird durch einen Aktuator 15 und Wirkverbindungen 16
15 eingestellt.

Das Ausdrucksbeispiel der Figur 7 ist mit dem Vorteil verbunden, dass die in den Bypass-Kanal 4 einströmende Luft aus Bereichen des Strömungskanals 25 stammt, die mehr am Rand des Strömungskanals 25 liegen. In den Zentralkörper 5 über den Bypass-Kanal 4
20 einströmende Luft ist daher kühler und kann dazu genutzt werden, den Zentralkörper 5 intern zu kühlen.

Die Figur 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel, dass bis auf den Umstand dem Ausführungsbeispiel der Figur 7 entspricht, dass eine Einstellung der Querschnittsfläche
25 nicht an den Eingangsöffnungen 41a, 41b erfolgt, sondern an der Ausgangsöffnung 42. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Bypass-Kanal 4 dabei teilweise in den Streben 31, 32 und teilweise im Zentralkörper 5 ausgebildet. Eine Einstellung der Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung 42 erfolgt durch einen Aktuator 5 und eine Wirkverbindung 16.

30 Die Figur 9 zeigt konkreter ein mögliches Ausführungsbeispiel zur Variation bzw. Einstellung der Querschnittsfläche einer Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4. Die Figur 9 zeigt den Zentralkörper 5 und die Streben 31, 32. Die Schubdüsenwand ist nicht dargestellt. Des Weiteren ist in der Figur 9 der Verlauf des Bypass-Kanals 4 im
35 Zentralkörper 5 nicht im Einzelnen dargestellt. Relevant ist, dass der Zentralkörper 5 an einer Austrittsfläche 520 endet, an der das Ende des Zentralkörpers 5 gewissermaßen

abgeschnitten ist. Diese Austrittsfläche 520 bildet gleichzeitig die Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4.

Relativ zu dieser Austrittsfläche 520 ist axial verschiebbar ein tropfenförmig ausgebildeter Verschlusskörper 9 angeordnet. In Abhängigkeit von der axialen Stellung des Verschlusskörpers 9 ist die Austrittsfläche 520 und damit die Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung 42 mehr oder weniger geschlossen, wobei auch ein vollständiger Verschluss möglich ist. Eine solche Einstellbarkeit der Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4 kann beispielsweise bei den Ausführungsbeispielen der Figuren 5 und 8 realisiert sein. Dabei zeigen die Strömungspfade 91, 92 beispielhaft den Verlauf der Strömung bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 5. Die Strömungspfade 93, 94 zeigen beispielhaft den Verlauf der Strömung bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 7, bei dem zwei Eingangsöffnungen 41a, 41b vorgesehen sind. Die Strömungspfade 95, 96 verdeutlichen beispielhaft Strömungen, die um den Zentralkörper 5 herum geleitet werden.

Die Figur 10 zeigt ebenso wie die Figur 9 ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Querschnittsfläche über einen im Zentralkörper 5 axial bewegbaren Verschlusskörper 9 einstellbar ist. Anders als bei der Figur 9 ist der Verschlusskörper 9 hier jedoch im Bereich der Eingangsöffnung 41 des Zentralkörpers 5 angeordnet. Wie bei der Figur 9 ist der Verlauf des Bypass-Kanals im Zentralkörper 5 nicht im Einzelnen dargestellt. Relevant ist, dass der Zentralkörper an einer Eingangsfläche 510 beginnt. Diese Eingangsfläche 510 bildet gleichzeitig die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung 41 des Bypass-Kanals 4. Relativ zu dieser Eingangsfläche 510 ist axial verschiebbar der tropfenförmig ausgebildete Verschlusskörper 9 angeordnet. In Abhängigkeit von der axialen Stellung des Verschlusskörpers 9 ist die Eingangsfläche 510 und damit die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung 41 mehr oder weniger geschlossen, wobei auch ein vollständiger Verschluss möglich ist. Eine solche Einstellbarkeit der Querschnittsfläche der Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4 kann beispielsweise bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 4 realisiert sein. Die Strömungspfade 97, 98 zeigen beispielhaft den Verlauf der Strömung bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 4. Die Strömungspfade 95, 96 verdeutlichen beispielhaft Strömungen, die um den Zentralkörper 5 herum geleitet werden.

Die Ausbildung eines Bypass-Kanals 4 im Zentralkörper 5 kann gemäß einer ersten Variante dazu genutzt werden, aufgrund von Fertigungstoleranzen entstandene Abweichungen der Düsenhalsfläche von einem vorgegebenen, zu realisierenden Wert

auszugleichen, sowie eine zeitliche Veränderung der Düsenhalsfläche, die durch den Betrieb des Flugtriebwerks bewirkt wird, auszugleichen. Dies kann beispielsweise auf einem Prüfstand erfolgen. Hierbei ist es nicht erforderlich, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals 4 kontinuierlich einstellbar ist, wie es in den Figuren 4-10 dargestellt ist. Eine gewünschte, für einen längeren Zeitraum valide Festlegung der Querschnittsfläche kann beispielsweise über austauschbare Trimmeinsätze erfolgen, die in die Eingangsöffnung oder in die Ausgangsöffnung des Bypass-Kanals einsetzbar sind, wobei Trimmeinsätze mit unterschiedlicher Querschnittsfläche für den Luftdurchlass vorgehalten werden.

10

Die Figuren 11a, 11b zeigen beispielhaft einen solchen Trimmeinsatz 150. In einer Ansicht von vorne und in einer Seitenansicht. Der Trimmeinsatz weist eine Wanddicke d und eine Querschnittsfläche B auf. Es werden mehrere Trimmeinsätze mit unterschiedlicher Wanddicke d und dementsprechend unterschiedlicher Querschnittsfläche B vorgehalten. Der Trimmeinsatz 150 wird in eine Eingangsöffnung 41 oder eine Ausgangsöffnung 42 des Bypass-Kanals 4 eingesteckt und dort fixiert. Hierdurch wird die Querschnittsfläche der Eingangsöffnung 41 bzw. der Ausgangsöffnung 42 auf die Querschnittsfläche B reduziert. Je nach verwendetem Trimmeinsatz kann eine kleinere oder größere Reduzierung der Querschnittsfläche und dadurch eine entsprechende Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche eingestellt werden.

20

Die Ausbildung eines Bypass-Kanals 4 im Zentralkörper 5 kann gemäß einer zweiten Variante dazu genutzt werden, die effektive Düsenhalsfläche während des Betriebs des Triebwerks einzustellen, um die effektive Düsenhalsfläche bei jedem Betriebszustand in gewünschter Weise einzustellen. Dabei kann durch Einstellung bzw. Änderung der effektiven Düsenhalsfläche der Expansionsgrad des Strömungskanals eingestellt werden.

25

Die vorliegende Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausgestaltung nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele. Beispielsweise ist es nur beispielhaft zu verstehen, dass der Zentralkörper über Streben 31, 32 mit der Schubdüsenwand verbunden ist. Für die Bereitstellung eines Bypass-Kanals 4 spielt es grundsätzlich keine Rolle, wie der Zentralkörper 5 im Strömungskanal angeordnet ist. Alternativ kann der Zentralkörper 5 beispielsweise an einer auf der Maschinenachse angeordneten Düsennadel befestigt sein.

30

Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die Merkmale der einzelnen beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung in verschiedenen Kombinationen miteinander

kombiniert werden können. Sofern Bereiche definiert sind, so umfassen diese sämtliche Werte innerhalb dieser Bereiche sowie sämtliche Teilbereiche, die in einen Bereich fallen.

Patentansprüche

1. Schubdüse für ein Turbofan-Triebwerk eines Überschallflugzeugs, wobei die
5 Schubdüse aufweist:
- eine Schubdüsenwand (20),
 - einen Strömungskanal (25), der durch die Schubdüsenwand (20) radial außen begrenzt ist, wobei der Strömungskanal (25) eine Düsenhalsfläche (A8) aufweist, und
 - 10 - einen im Strömungskanal (25) angeordneten Zentralkörper (5),

dadurch gekennzeichnet,

15 dass der Zentralkörper (5) einen Bypass-Kanal (4) ausbildet, der sich innerhalb des Zentralkörpers (5) erstreckt und der dazu vorgesehen ist, von Gas des Strömungskanals (25) durchflossen zu werden, wobei der Bypass-Kanal (4) mindestens eine stromaufwärtige Eingangsöffnung (41) aufweist, die stromaufwärts der Düsenhalsfläche (A8) des Strömungskanals (25) angeordnet ist, und mindestens eine stromabwärtige Ausgangsöffnung (42) aufweist, die stromabwärts der
20 Düsenhalsfläche (A8) des Strömungskanals (25) angeordnet ist.

2. Schubdüse nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zentralkörper (5) über mindestens eine Strebe (31, 32) mit der Schubdüsenwand (20) verbunden ist.
- 25 3. Schubdüse nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zentralkörper (5) über zwei Streben (31, 32) mit der Schubdüsenwand (20) verbunden ist, die jeweils ein Profil mit einer Vorderkante (311, 312) und einer Hinterkante (321, 322) aufweisen, wobei die beiden Streben (31, 32) näherungsweise in einer Ebene angeordnet sind.
- 30 4. Schubdüse nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine stromaufwärtige Eingangsöffnung (41) des Bypass-Kanals (4) in einer Strebe (31, 32) ausgebildet ist, wobei der Bypass-Kanal (4) in einem ersten stromaufwärtigen Abschnitt (43, 44) in der Strebe (31, 32) und in einem zweiten stromabwärtigen Abschnitt (45) im Zentralkörper (5) verläuft.
- 35

5. Schubdüse nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals (4) einstellbar ist.
- 5 6. Schubdüse nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals (4) durch mindestens einen Aktuator (15), über den eine Querschnittsfläche des Bypass-Kanals (4) einstellbar ist, kontinuierlich einstellbar ist.
- 10 7. Schubdüse nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querschnittsfläche mindestens einer Eingangsöffnung (41) des Bypass-Kanals (4) einstellbar ist.
- 15 8. Schubdüse nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querschnittsfläche mindestens einer Ausgangsöffnung (42) des Bypass-Kanals (4) einstellbar ist.
- 20 9. Schubdüse nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Aktuator (15) in oder radial außerhalb der Schubdüsenwand (20) angeordnet ist, die den Strömungskanal (25) radial außen begrenzt.
- 25 10. Schubdüse nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals (4) durch einen im Bypass-Kanal (4) in axialer Richtung bewegbaren Verschlusskörper (9) einstellbar ist, dessen axiale Position den Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals (4) definiert.
- 30 11. Schubdüse nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der in axialer Richtung bewegbare Verschlusskörper (9) relativ zu einer stromaufwärtigen Eingangsöffnung (41) oder relativ zu einer stromabwärtigen Ausgangsöffnung (42) des Zentralkörpers (5) in axialer Richtung verschiebbar ist, wobei der Verschlusskörper (9) eine Tropfenform aufweist.
- 35 12. Schubdüse nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals (4) durch austauschbare Trimmeinsätze (150) mit definierter Querschnittsfläche, die am Anfang oder am Ende des Bypass-Kanals (4) in diesen einsetzbar sind, einstellbar ist.

13. Schubdüse nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schubdüsenwand (20) nicht verstellbar im Hinblick auf die Düsenhalsfläche (A8) und die Düsenaustrittsfläche ausgebildet ist.

5 14. Schubdüse nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zentralkörper (5) an seinem stromaufwärtigen Ende (51) und/oder an seinem stromabwärtigen Ende (52) konisch geformt ist und zwischen dem stromaufwärtigen Ende (51) und dem stromabwärtigen Ende (52) mindestens ein Maximum (53) seiner Querschnittsfläche ausbildet.

10

15. Schubdüse nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schubdüse (2) als dreidimensionale Schubdüse mit einem rotationssymmetrischem Zentralkörper (5) ausgebildet ist.

15 16. Turbofan-Triebwerk für ein Überschallflugzeug, das aufweist:

- einen Fan (102), wobei das Turbofan-Triebwerk stromabwärts des Fans (102) einen Primärstromkanal (103) und einen Sekundärstromkanal (104) ausbildet,
- ein Kerntriebwerk (106, 107, 108, 109), wobei der Primärstromkanal (103) durch das Kerntriebwerk (106, 107, 108, 109) führt und der Sekundärstromkanal (104) an dem Kerntriebwerk (106, 107, 108, 109) vorbeiführt,
- einen Mischer (105), und
- eine Schubdüse (2) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei der Gasstrom durch den Primärstromkanal (103) und der Gasstrom durch den Sekundärstromkanal (104) durch den Mischer (105) vermischt und dem Strömungskanal (25) der Schubdüse (2) zugeführt werden.

20

25

17. Verfahren zur Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche einer Schubdüse in einem Prüfstand, gekennzeichnet durch:

- Betreiben eines Turbofan-Triebwerks mit einer Schubdüse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 in einem Prüfstand;
- Einstellen desjenigen Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals (4), bei dem die sich aus der Summe des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals (4) und der Düsenhalsfläche (A8) ergebende effektive Düsenhalsfläche einem gewünschten Wert entspricht; und
- Fixieren des eingestellten Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals (4).

30

35

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingestellte Öffnungsquerschnitt durch mindestens einen Trimmeinsatz (150) mit einer definierten Querschnittsfläche (B) fixiert wird, der am Anfang oder am Ende des Bypass-Kanals (4) in diesen eingesetzt wird.

5

19. Verfahren zur Einstellung der effektiven Düsenhalsfläche einer Schubdüse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 eines Turbofan-Triebwerks während dessen Betrieb, gekennzeichnet durch:

- Variieren des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals (4) in Abhängigkeit vom Betriebspunkt des Triebwerks derart, dass
- die sich aus der Summe des Öffnungsquerschnitts des Bypass-Kanals (4) und der Düsenhalsfläche (A8) des Strömungskanals (25) ergebende effektive Düsenhalsfläche bei jedem Betriebszustand einem gewünschten Wert entspricht.

10

15 20. Verfahren gemäß Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Öffnungsquerschnitt des Bypass-Kanals (4) beim Start maximal eingestellt wird.

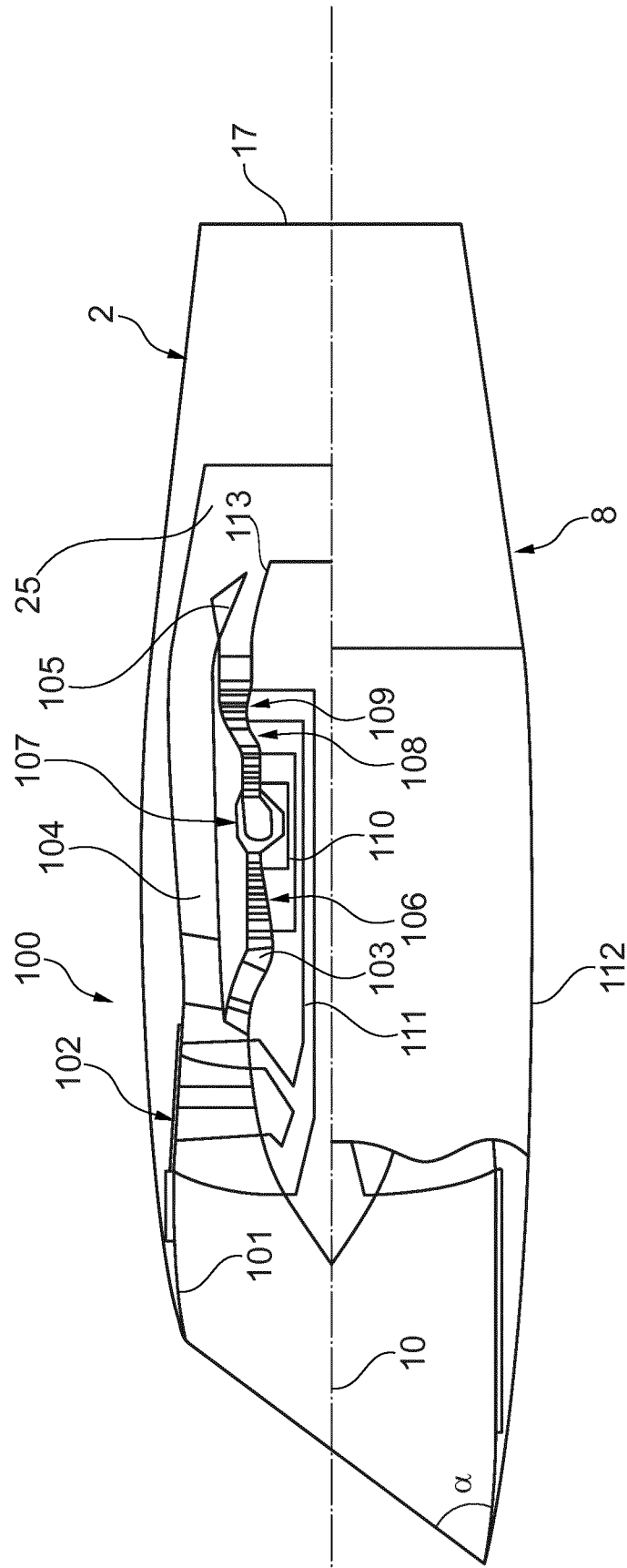


Fig. 1

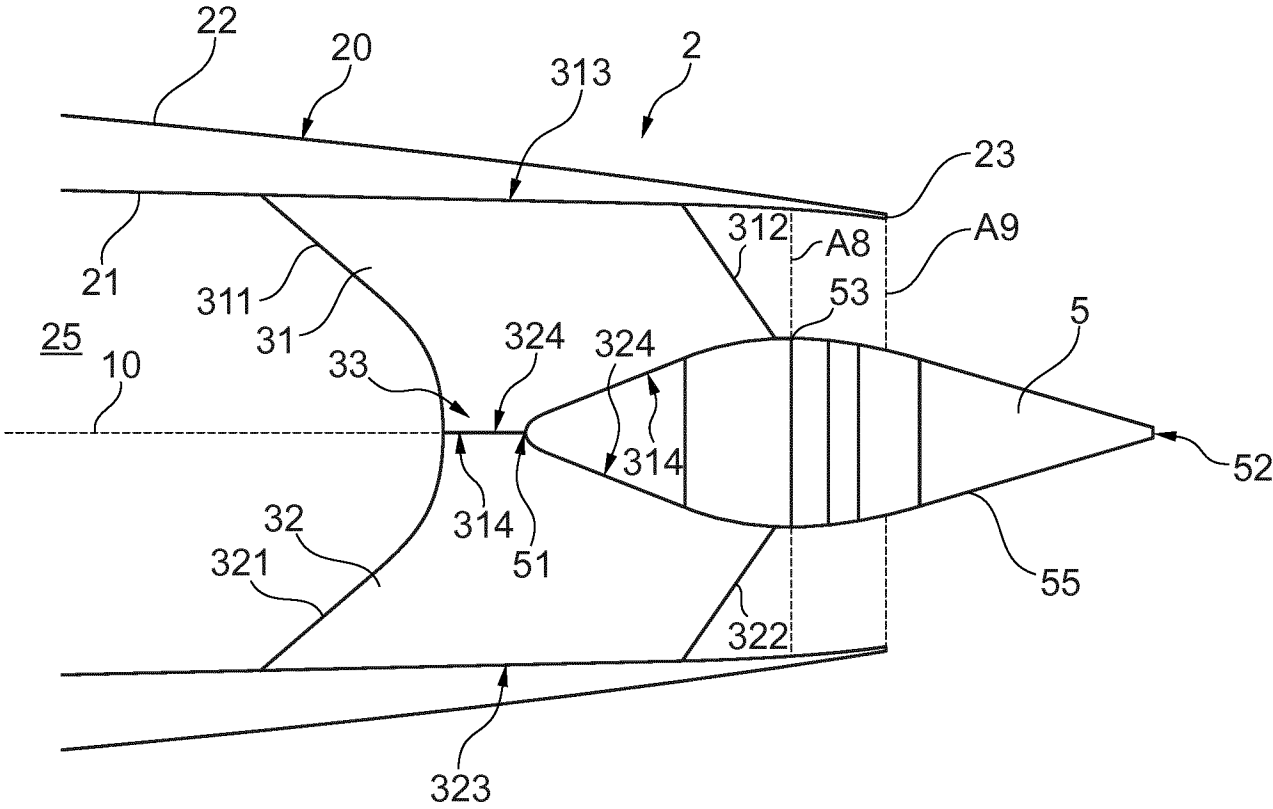


Fig. 2

3/7

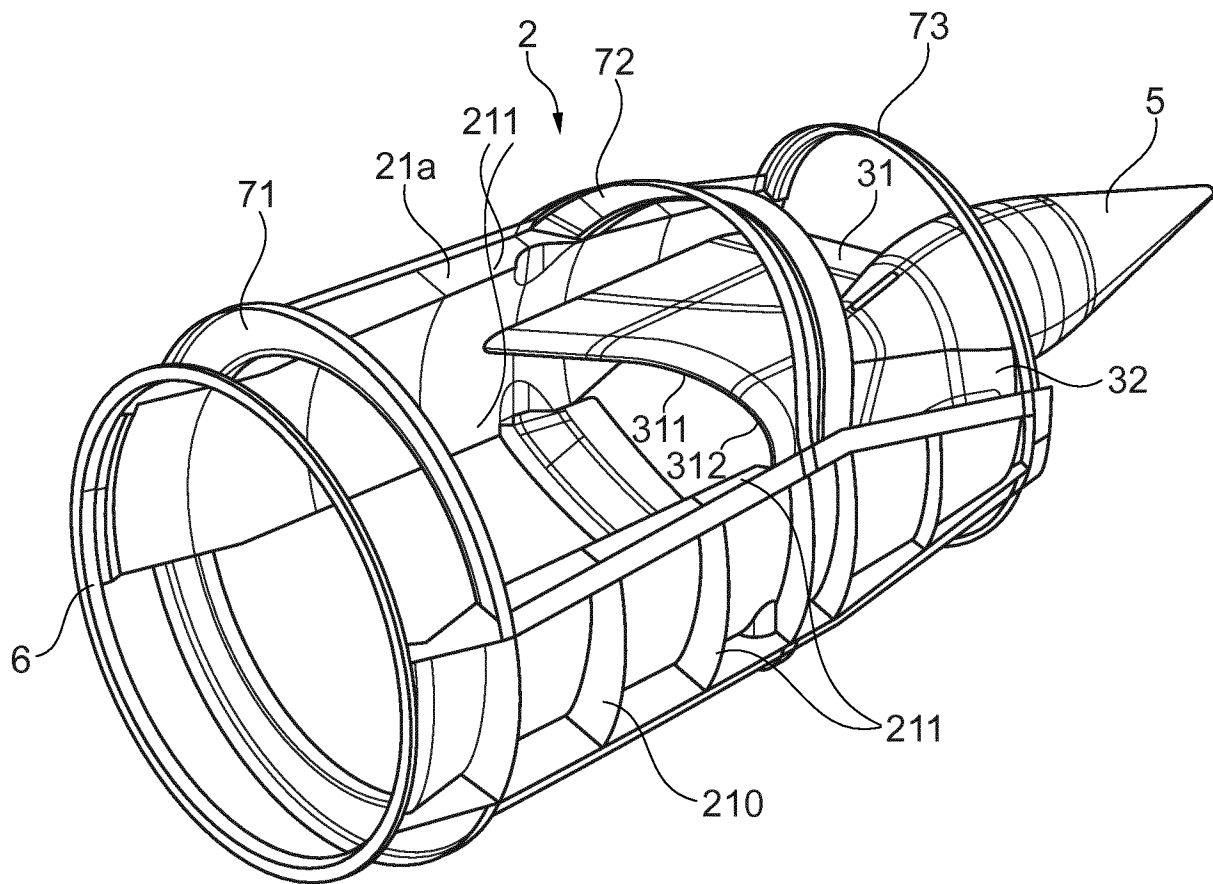
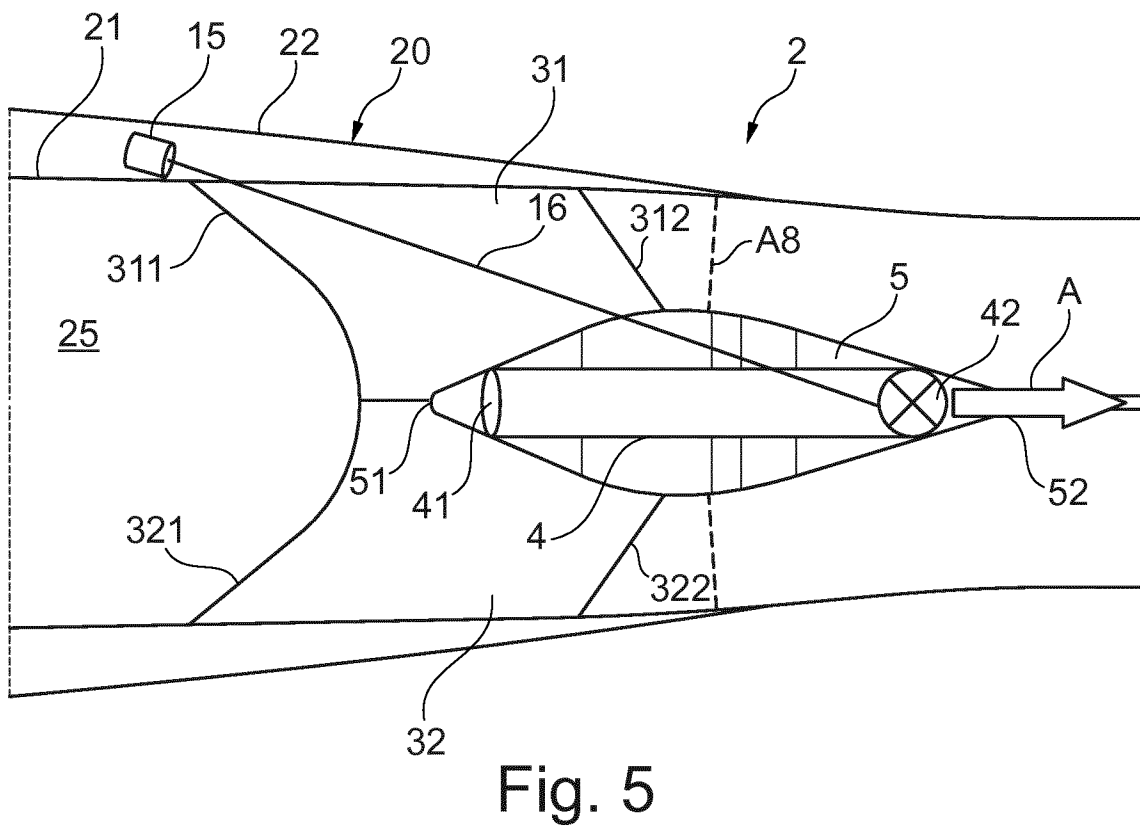
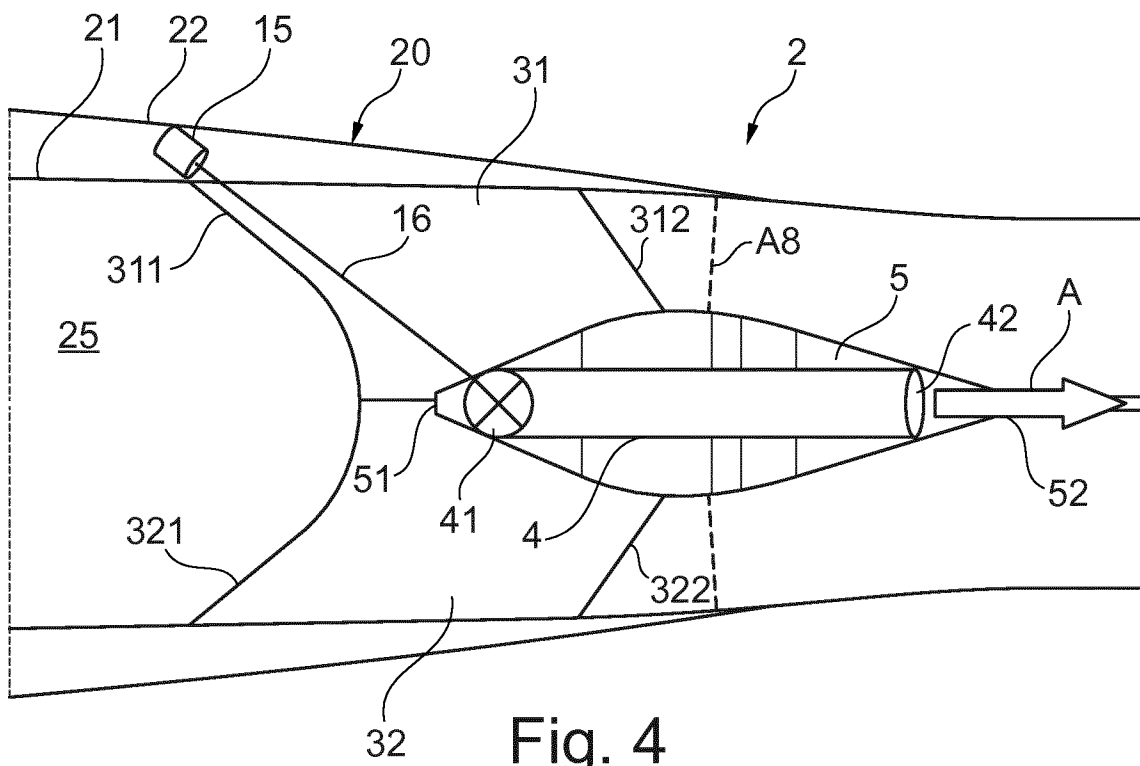


Fig. 3

4/7



5/7

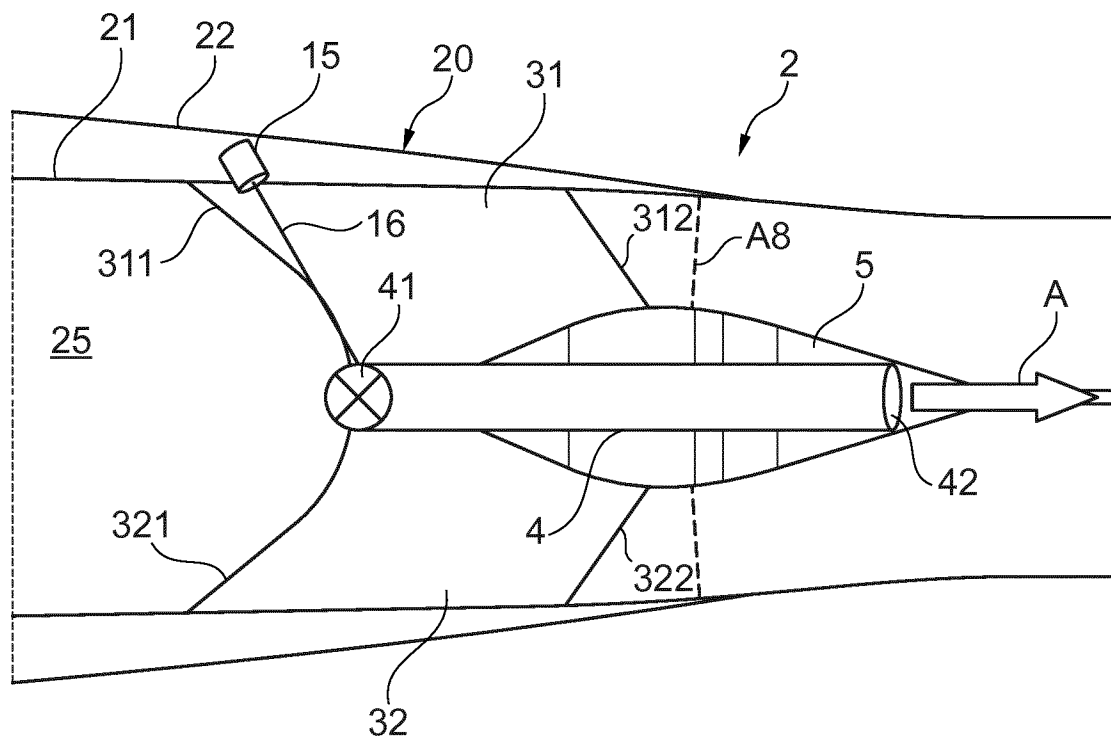


Fig. 6

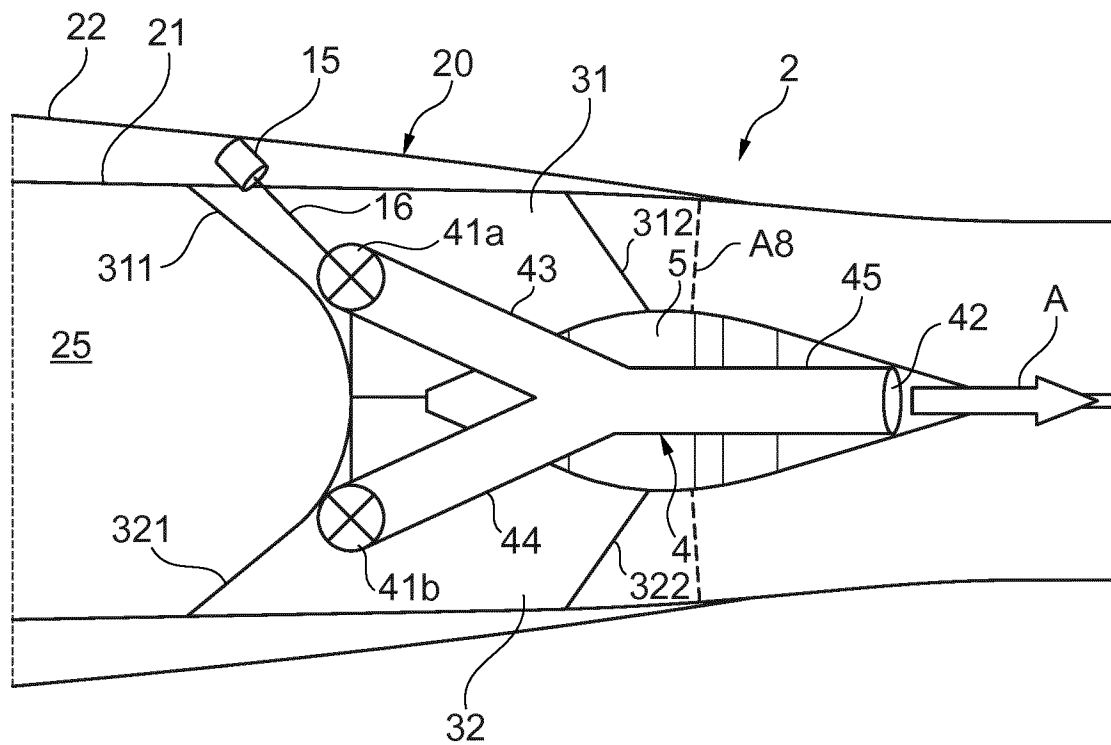


Fig. 7

6/7

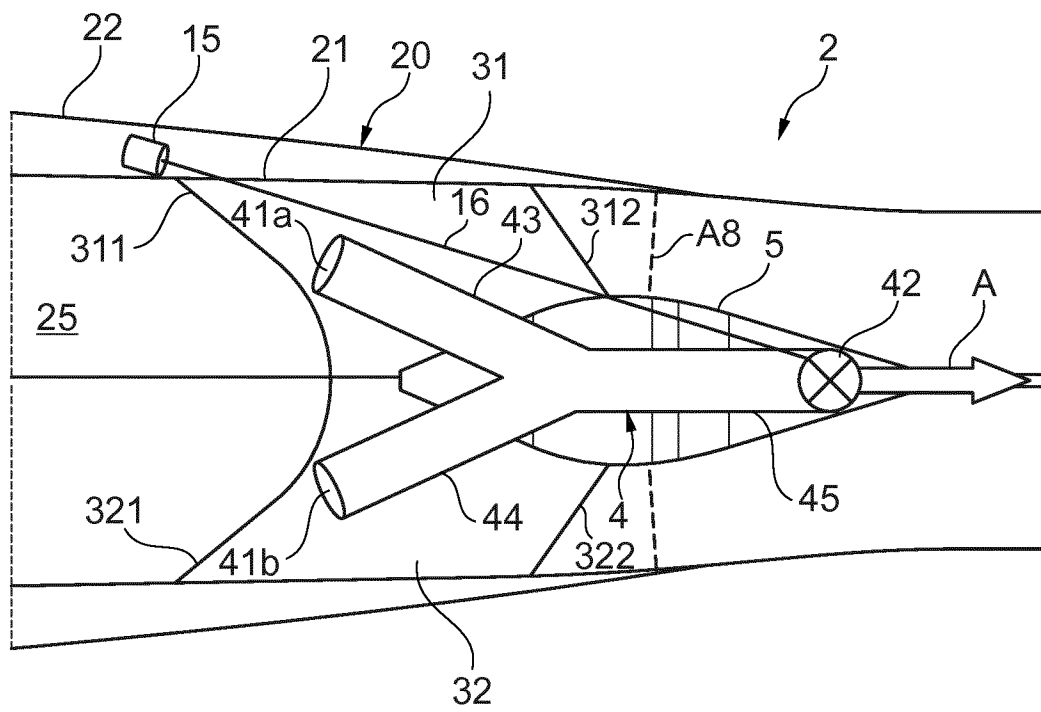


Fig. 8

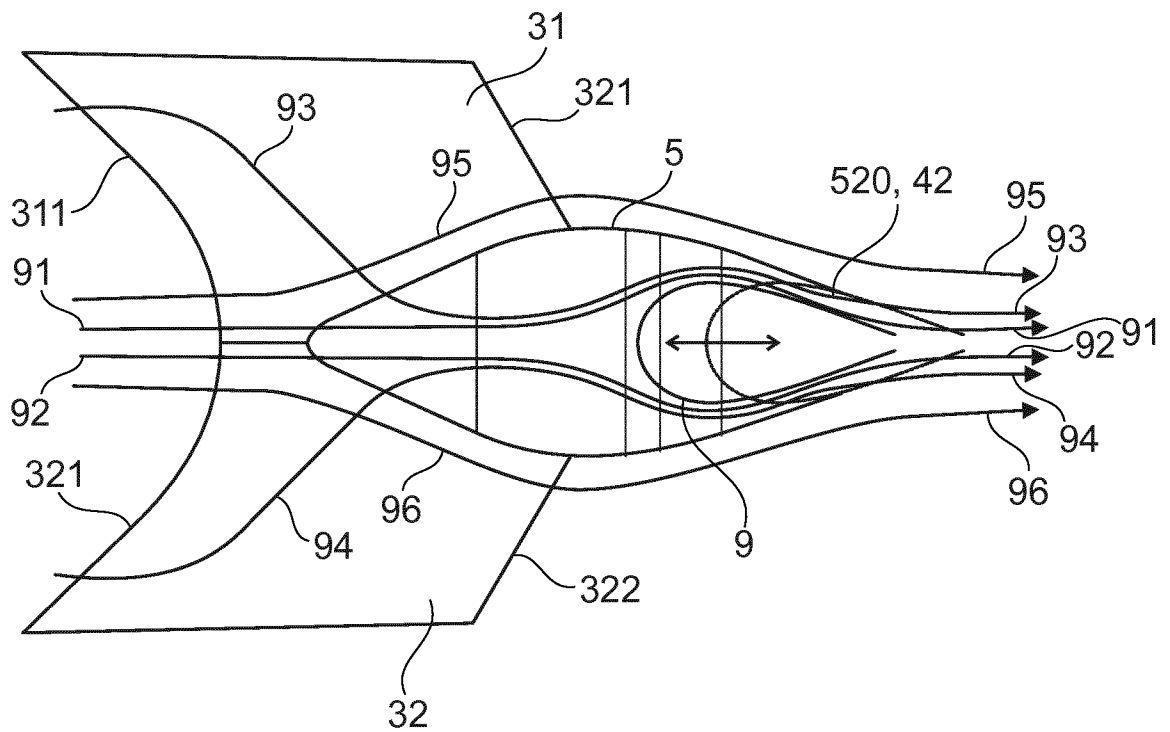
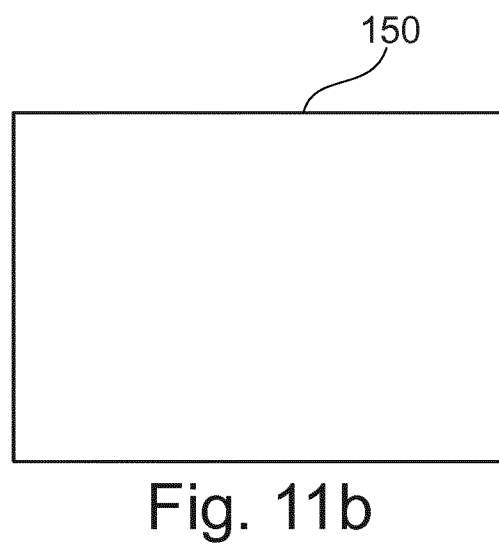
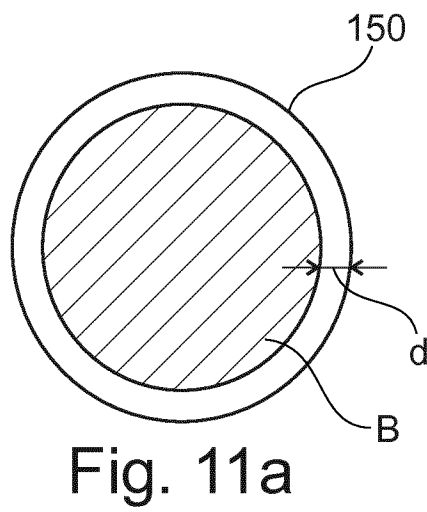
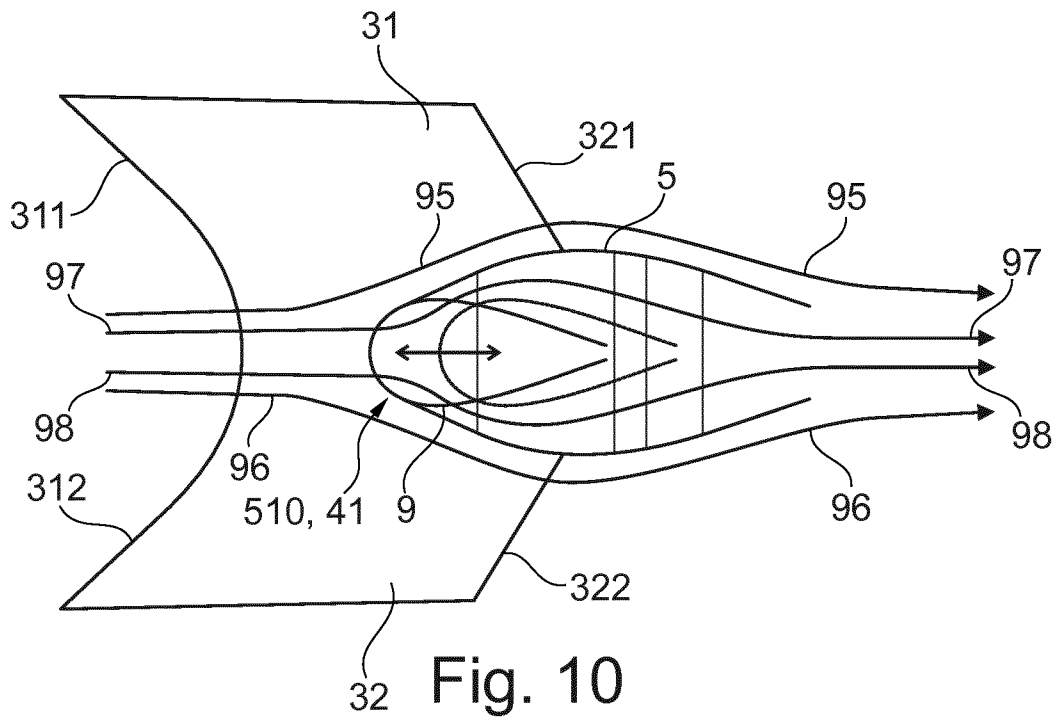


Fig. 9

7/7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/084319

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F02K 1/04**(2006.01)i; **F02K 1/08**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2007186535 A1 (POWELL BRANDON F [US] ET AL) 16 August 2007 (2007-08-16) figures 1,2 paragraphs [0001] - [0005], [0010], [0032], [0048], [0051] - [0054], [0057], [0058]	1-15,19,20 16,17
X A	US 3402894 A (WYNOSKY THOMAS A ET AL) 24 September 1968 (1968-09-24) figures 1-5 column 1, line 13 - column 3, line 36 column 3, lines 61-70 column 4, line 34 - column 5, line 47 column 6, line 19 - column 8, line 6	1-3,13-16 5-12,17-20
X	US 3040523 A (PRICE NATHAN C) 26 June 1962 (1962-06-26) figures 1-5 column 1, line 8 - column 2, line 24 column 2, line 45 - column 4, line 65 column 6, line 67 - column 8, line 10	1,14,19,20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 March 2019

Date of mailing of the international search report

14 March 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Rakotonanahary, S

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/084319

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2007186535	A1	16 August 2007	CA	2576696	A1	13 August 2007
				CN	101021181	A	22 August 2007
				FR	2897655	A1	24 August 2007
				GB	2435076	A	15 August 2007
				JP	5372332	B2	18 December 2013
				JP	2007218255	A	30 August 2007
				US	2007186535	A1	16 August 2007
US	3402894	A	24 September 1968	DE	1626143	A1	24 September 1970
				FR	1526647	A	24 May 1968
				GB	1194716	A	10 June 1970
				US	3402894	A	24 September 1968
US	3040523	A	26 June 1962	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02K1/04 F02K1/08
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 2007/186535 A1 (POWELL BRANDON F [US] ET AL) 16. August 2007 (2007-08-16) Abbildungen 1,2 Absätze [0001] - [0005], [0010], [0032], [0048], [0051] - [0054], [0057], [0058] -----	1-15, 19, 20 16, 17
X A	US 3 402 894 A (WYNOSKY THOMAS A ET AL) 24. September 1968 (1968-09-24) Abbildungen 1-5 Spalte 1, Zeile 13 - Spalte 3, Zeile 36 Spalte 3, Zeilen 61-70 Spalte 4, Zeile 34 - Spalte 5, Zeile 47 Spalte 6, Zeile 19 - Spalte 8, Zeile 6 ----- -/-	1-3, 13-16 5-12, 17-20



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. März 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/03/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Rakotonanahary, S

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 040 523 A (PRICE NATHAN C) 26. Juni 1962 (1962-06-26) Abbildungen 1-5 Spalte 1, Zeile 8 - Spalte 2, Zeile 24 Spalte 2, Zeile 45 - Spalte 4, Zeile 65 Spalte 6, Zeile 67 - Spalte 8, Zeile 10 -----	1,14,19, 20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/084319

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 2007186535	A1	16-08-2007	CA	2576696	A1	13-08-2007		
			CN	101021181	A	22-08-2007		
			FR	2897655	A1	24-08-2007		
			GB	2435076	A	15-08-2007		
			JP	5372332	B2	18-12-2013		
			JP	2007218255	A	30-08-2007		
			US	2007186535	A1	16-08-2007		

US 3402894	A	24-09-1968	DE	1626143	A1	24-09-1970		
			FR	1526647	A	24-05-1968		
			GB	1194716	A	10-06-1970		
			US	3402894	A	24-09-1968		

US 3040523	A	26-06-1962	KEINE					
